

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДИПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА В ^{54}Fe

Н.Г. Гончарова, А.П. Долгодворов, Н. Э. Машутиков
 Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ
 E-mail: n.g.goncharova@gmail.ru, dolgodvorov@physics.msu.ru

Микроскопическое описание дипольных резонансов в ядрах с незаполненными оболочками является открытой задачей теории. Одним из возможных путей решения этой проблемы служит версия частица-состояние конечного ядра многочастичной модели оболочек [1,2]. Основное состояние в рамках данной версии описывается волновой функцией:

$$|J_i, T_i\rangle = \sum_{(J'), j} C_i^{(J'), j} |(J' E' T')_{A-1} \times (nlj) : J_i, T_i\rangle, \quad (1)$$

которая строится из состояния конечного ядра и состояния нуклона на данной подоболочке. Возбужденное состояние ядра описывается волновой функцией:

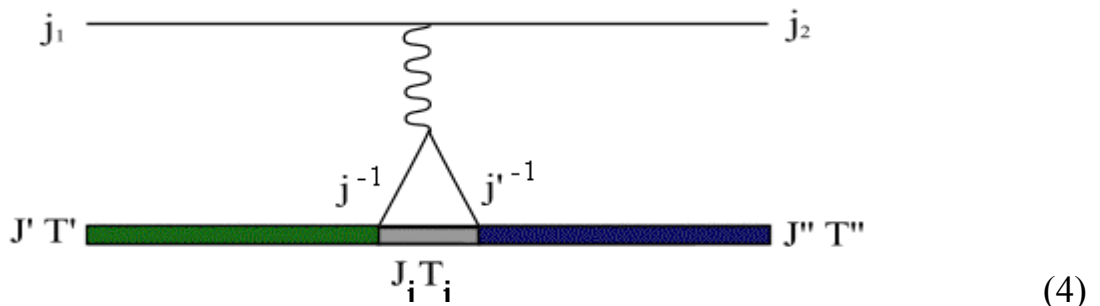
$$|J_f, T_f\rangle = \sum_{(J'), j'} \alpha_f^{(J'), j'} |(J' E' T')_{A-1} \times (n'l'j') : J_f, T_f\rangle, \quad (2)$$

которая строится так же из состояния конечного ядра и состояния нуклона на новой подоболочке. Расчет коэффициентов α_f производится путем диагонализации гамильтониана:

$$\hat{H}_{ij} = (E' + \varepsilon_j + E_c)\delta_{ij} + \hat{V}_{ij}. \quad (3)$$

Одночастичные энергии ε_j возбужденных состояний нуклонов были оценены с помощью данных [3].

Расчет остаточного взаимодействия \hat{V}_{ij} соответствует схеме:



В рамках данной модели был впервые выполнен микроскопический расчет гигантского дипольного резонанса в изотопе железа ^{54}Fe . Несмотря на сравнительно небольшое распространение данного элемента в природе (5,845%), имеются достаточно подробные экспериментальные исследования для этого ядра.

Изовекторное возбуждение изотопа ^{54}Fe ведет к двум ветвям E1 резонанса. Схема изоспиновых коэффициентов изовекторного возбуждения представлена на рис.1.

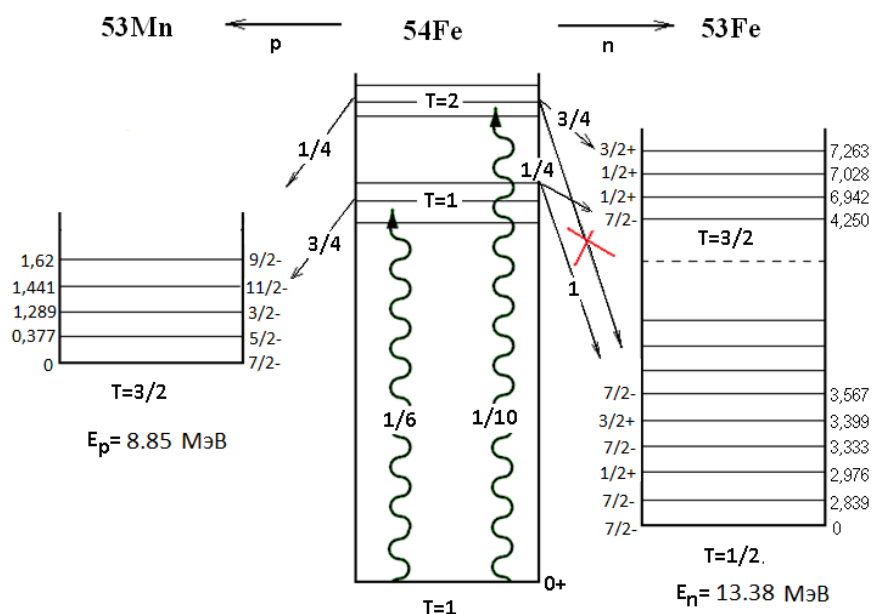


Рис. 1. E1 возбуждение и распад резонансного состояния для изотопа ^{54}Fe .

Информацию о генеалогических коэффициентах можно извлечь из спектроскопических факторов прямых реакций подхвата:

$$C_i = \sqrt{\frac{S_i}{\sum_i S_i}}. \quad (5)$$

Распределение спектроскопических факторов S для ядра ^{54}Fe , взятое из [4], представлено на рис. 2.

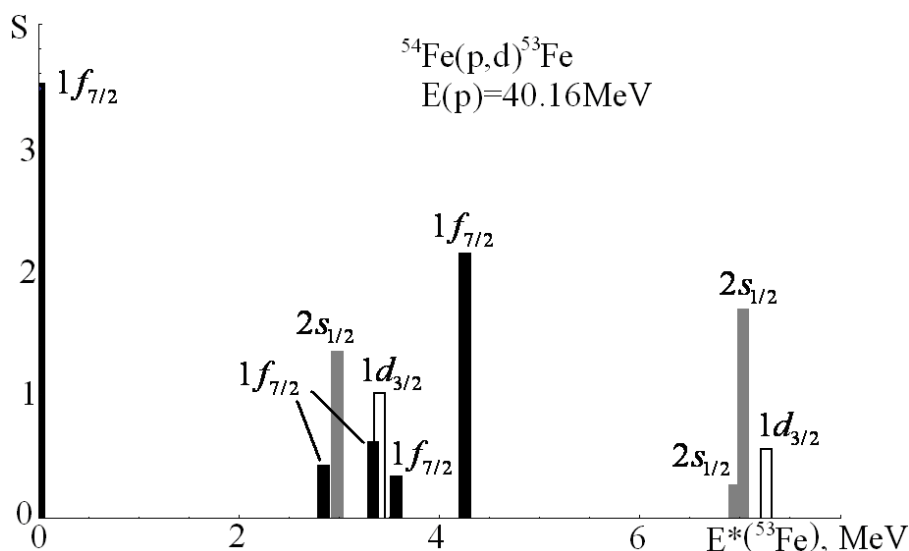


Рис. 2. Спектроскопические факторы прямых реакций подхвата нейтрона для ядра ^{54}Fe .

Для получения базиса были взяты все существенные величины спектроскопических факторов ($S > 0.1$). Число входных конфигураций составило 27 для ветви $T_<$ и 10 для $T_>$.

Для расчета формфакторов были использованы формулы:

$$F_{EJ}^2(q) = \frac{1}{2J_i + 1} \left| \langle J_f \| \hat{T}_J^{el} \| J_i \rangle \right|^2, \quad (6)$$

где расчет матричных элементов оператора сводится к матричным элементам нуклонных переходов:

$$\begin{aligned} \langle J_f T_f M_T \| \hat{T}_{JTM_T}^{el} \| J_i T_i M_T \rangle &= \sum_{i, J_i, J_f} \langle J_f \| \hat{O}_{TM_T}^J \| J_i \rangle \sqrt{2} \sqrt{2J_i + 1} \cdot Z_{TM_T}^J(j_f j_i); \\ Z_{TM_T}^J(j_f j_i) &= \sum_{J'T'} C_i^{JT, J_i} \alpha_f^{J'T', J_f} \times f(J_i, J_f, J_i, J_f, T_i, T_f). \end{aligned} \quad (7)$$

Вычисление спектроскопической амплитуды Z включает коэффициенты α и C , а также изоспиновые коэффициенты, соответствующие изовекторному возбуждению и распаду резонансных состояний. Эти коэффициенты оказывают большое влияние на фоторасщепление ядра ^{54}Fe и представлены на рис. 1.

Расчет сечения производился по приближенной формуле:

$$\sigma_{ij}(E) \approx \frac{1}{\pi} \frac{\Gamma_j F_j^2}{(E - E_j)^2 + \left(\frac{\Gamma_j}{2}\right)^2}. \quad (8)$$

Оценка ширин Γ_j в формуле (8) проводилась с учетом волновых функций, соответствующих отдельным пикам:

$$\Gamma_{ij} = \text{Const} \cdot \alpha_{ij}^2 \cdot K_{ij} \cdot k_{ij} \cdot P_{ij}, \quad (9)$$

где константа отвечает за масштаб ширин и носит название вигнеровского предела, α_{ij}^2 - квадрат коэффициента волновой функции возбужденного состояния ядра (из формулы (2)), K_{ij} - коэффициент векторного сложения

(рис.1), $k_{ij} = \frac{\sqrt{2mc^2}}{\hbar c} (E_j - E_i - E_{\text{omd.n}})$ - волновой вектор, P_{ij} - нейтронная проницаемость.

Результат расчета в сравнении с экспериментом [5] представлен на рис. 3.

Приведенные выше результаты были получены с помощью специально построенной программы, позволяющей произвести диагонализацию гамильтониана, расчет формфакторов как матричных элементов на основе полученных волновых функций и оценку распадных ширин.

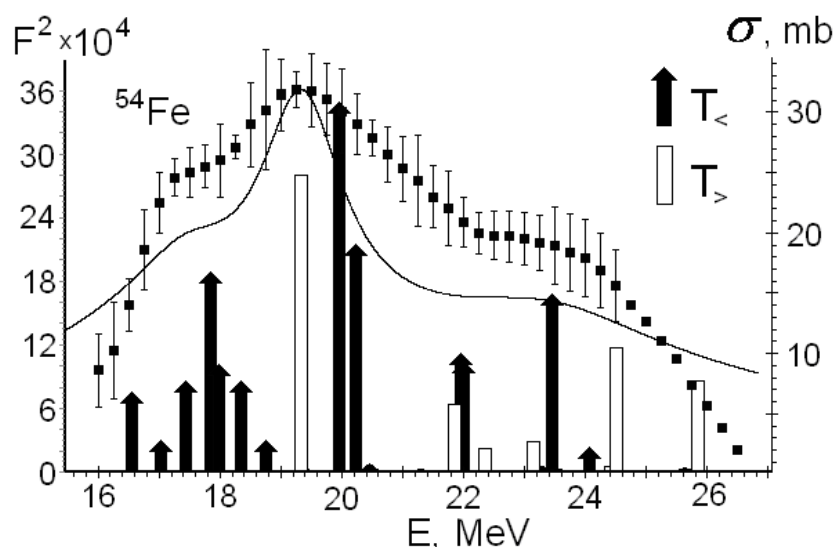


Рис. 3. Сечение, $E1$ формфакторы ядра ^{54}Fe и эксперимент [5].

Приведенные теоретические исследования возбуждения и распада ГДР в ядре ^{54}Fe показывают, что в версии ЧСКЯ можно получить удовлетворительное описание распределения эффективного сечения по энергии возбуждения.

1. N.G.Goncharova, N.P.Yudin. The influence of fractional parentage structure of ground state on the photodisintegration of ^{12}C nucleus. Phys. Lett. B 29, (1969) 272
2. N.G.Goncharova, A.Dzhioev. The interplay of spin and orbital currents in the nuclear response to electroexcitation. Nucl.Phys.A 690 (2001) 247c
3. Добрынин Ю.Л., Толоконников С.В., Фаянс С. А. Одночастичные спектры сферических ядер: Препринт ИАЭ-2593. М., 1975.
4. T. Suehiro, J.E. Fink, J.A. Nolen Jr. A study of the $^{54}\text{Fe}(p,d)^{53}\text{Fe}$ reaction at 40 MeV. Nucl.Phys.A 313(1979)141.
5. B.S. Ratner, A.N. Sergievsky, S.S. Verbitsky. Intermediate structure of the giant dipole resonance in ^{54}Fe and ^{56}Fe . Nucl.Phys.A 285(1977)71.